

船舶インシデント調査報告書

船種 船名 旅客船 つばさ
船舶番号 120078
総トン数 164トン

インシデント種類 運航阻害

発生日時 平成23年10月28日 15時50分ごろ

発生場所 新潟県佐渡市両津港東方沖

両津港北防波堤先端灯台から真方位080° 3.5海里
付近

(概位 北緯38° 05.5′ 東経138° 31.4′)

平成25年5月23日

運輸安全委員会（海事専門部会）議決

委員 横山 鐵男（部会長）
委員 庄司 邦昭
委員 根本 美奈

要 旨

<概要>

旅客船つばさは、船長ほか3人が乗り組み、旅客127人を乗せ、新潟県佐渡市両津港東方沖を同港に向けて西進中、平成23年10月28日（金）15時50分ごろ、左舷ガスタービン主機が、ガスタービン入口空気温度の高温による自動停止機能により停止し、再始動を試みて増速したところ、左舷ガスタービン主機のガスタービン入口温度高温注意警報が鳴り、ガバナ異常により自動停止して運転ができなくなり、右舷ガスタービン主機を単独運転して両津港に入港した。

つばさは、約20分の遅延を生じたものの、死傷者はいなかった。

<原因>

本インシデントは、つばさが、両津港東方沖を同港に向けて西進中、左舷ガスター

ビン主機のガスジェネレータ軸流圧縮機 2 段静翼及び 2 段動翼が疲労破壊で折損したため、左舷ガスタービン主機の運転ができなくなったことにより発生したものと考えられる。

左舷ガスタービン主機のガスジェネレータ軸流圧縮機 2 段静翼及び 2 段動翼が疲労破壊で折損したのは、左舷ガスタービン主機の発停が繰り返されたことによる 2 段静翼のアウトershroud側の翼取付け部のカシメ及び接着材が経年劣化し、製造時と比較して翼の固定状態が変化して振動したことから、アウトershroud側の翼取付け根部が疲労破壊して破断した後、インナーershroud側の翼付け根部が疲労破壊で破断したことによる可能性があると考えられ、2 段静翼が折損したことから、左舷ガスタービン主機のガスジェネレータ軸流圧縮機内の空気の流れに乱れが生じて 2 段動翼に疲労による亀裂が生じたことによるものと考えられる。

1 船舶インシデント調査の経過

1.1 船舶インシデントの概要

旅客船つばさは、船長ほか3人が乗り組み、旅客127人を乗せ、新潟県佐渡市両津港東方沖を同港に向けて西進中、平成23年10月28日（金）15時50分ごろ、左舷ガスタービン主機が、ガスタービン入口空気温度の高温による自動停止機能により停止し、再始動を試みて増速したところ、左舷ガスタービン主機のガスタービン入口温度高温注意警報が鳴り、ガバナ異常により自動停止して運転ができなくなり、右舷ガスタービン主機を単独運転して両津港に入港した。

つばさは、約20分の遅延を生じたものの、死傷者はいなかった。

1.2 船舶インシデント調査の概要

1.2.1 調査組織

運輸安全委員会は、平成23年11月17日、本インシデントの調査を担当する主管調査官（仙台事務所）ほか1人の地方事故調査官を指名した。

1.2.2 調査の実施時期

平成24年1月6日、6月1日、4日、7月4日、11日 回答書受領

平成24年10月16日 現場調査及び口述聴取

1.2.3 原因関係者からの意見聴取

原因関係者から意見聴取を行った。

2 事実情報

2.1 インシデントの経過

本インシデントが発生するまでの経過は、つばさ（以下「本船」という。）の機関長及びメンテナンス会社（佐渡汽船シップメンテナンス株式会社、以下「A社」という。）の船舶整備部担当者の口述並びに船長及びA社の回答書によれば、次のとおりであった。

本船は、新潟県新潟市新潟港と両津港間の定期航路で運航されているジェットフォイル^{*1}旅客船であり、船長及び機関長ほか2人が乗り組み、旅客127人を乗せ、平

^{*1} 「ジェットフォイル」とは、全没型の水中翼に働く翼揚力を利用して船体を完全に海面上に持ち上げ、ウォータージェット推進器によって後方から水を噴射して航行する船舶をいう。

成23年10月28日14時55分ごろ新潟港を出港して両津港に向かった。

本船は、新潟港を出港した後、同港西突堤の少し手前まで艇走*2し、その後、徐々に増速して翼走*3に切り替え、両津港東方沖をウォータージェットポンプの回転数毎分（rpm）を約1,800として約37～38ノット（kn）の速力で西進中、15時50分ごろ、両津港北防波堤先端灯台から真方位080° 3.5海里（M）付近において、「ズドン」という衝撃音を発した後、操舵室内の機関監視盤の左舷ガスタービン主機のガスタービン入口温度高温警報ランプが点灯するとともに警報が鳴り、左舷ガスタービン主機が自動停止した。

機関長は、操舵室内の機関監視盤を確認したが、異常が認められなかったため、操舵室内にある左舷ガスタービン主機のモータリング*4ボタンを操作し、左舷ガスタービン主機のモータリングを行ったが異常は認められなかった。

本船は、機関長が左舷ガスタービン主機を再始動し、ウォータージェットポンプの回転数を約1,500rpmまで増速したところ、ガスタービン入口温度高温注意警報を発するとともに、ガバナ異常により自動停止して潤滑油液面低下警報が鳴った。

一等機関士は、左舷ガスタービン室内を点検したところ、‘左舷ガスタービン主機のガスジェネレータの軸流圧縮機’（以下「本件圧縮機」という。）の下部に漏油を認めた。

機関長は、左舷ガスタービン主機の振動計が1mil*5を示していることを確認した。

本船は、左舷ガスタービン主機の運転を止め、右舷ガスタービン主機を単独運転して両津港に約20分遅れで入港した。

左舷ガスタービン主機は、A社により本船から取り外されて開放整備会社（以下「B社」という。）に搬入され、本船には、予備のガスタービン主機が搭載された。

本インシデントの発生日時は、平成23年10月28日15時50分ごろで、発生場所は、両津港北防波堤先端灯台から真方位080° 3.5M付近であった。

（付図1 インシデント発生場所図、写真1 本船、写真2 操舵室内の機関監視盤参照）

*2 「艇走」とは、水中翼を使用せずに船体を海面に接しさせ、船体の浮力で浮いて航行する状態をいう。

*3 「翼走」とは、海中の水中翼によって揚力を生じさせ、船体を海面から浮かせて航行する状態をいう。

*4 「モータリング」とは、ガスタービンの運転を行う前に円滑に回転体が回転することを確認するため、回転体を空転させることをいう。

*5 「1mil」とは、1/1,000inch（1inchは、25.4mm）をいう。

2.2 人の死亡、行方不明及び負傷に関する情報

本インシデントによる死傷者はいなかった。

2.3 船舶等の損傷に関する情報

本件圧縮機の5段抽気弁油圧入口継手に折損が、本件圧縮機の2段静翼及び動翼に折損及び曲損が生じた。

2.4 乗組員等に関する情報

(1) 性別、年齢、海技免状

船長 男性 38歳

二級海技士（航海）

免許年月日 平成8年12月20日

免状交付年月日 平成23年10月3日

免状有効期間満了日 平成28年12月19日

機関長 男性 41歳

二級海技士（機関）

免許年月日 平成22年8月16日

免状交付年月日 平成22年8月16日

免状有効期間満了日 平成27年8月15日

(2) 主な乗船履歴及び健康状態

機関長の口述及び船長の回答書によれば、次のとおりであった。

① 船長

佐渡汽船株式会社（以下「C社」という。）へ入社し、C社が運航する旅客フェリーに航海士として約7年間乗船した後、ジェットフォイルの船長として約4年間乗船した。

本インシデント発生時、健康状態は良好であった。

② 機関長

平成3年7月にC社へ入社し、機関員としてC社が運航する旅客フェリーに乗船した後、平成6年に三等機関士、平成12年に二等機関士、平成19年に一等機関士となり、平成23年に機関長となった。ジェットフォイルには、平成14～17年及び平成19～23年まで計6年間乗船していた。

本インシデント発生時、健康状態は良好であった。

2.5 船舶等に関する情報

2.5.1 船舶の主要目

船舶番号	120078
船籍港	新潟県佐渡市
船舶所有者	C社
総トン数	164トン
Lr×B×D	22.26m×8.53m×2.59m
船質	アルミニウム合金
機関	ガスタービン機関2基
出力	2,834kW/基 合計5,668kW
推進器	ウォータージェット推進器2個
進水年月	昭和63年9月
最大搭載人員	旅客 1.夜間（常用薄明を除く）に航行する場合253人 2.その他の場合254人 船員 1.夜間（常用薄明を除く）に航行する場合5人 2.その他の場合4人 その他の乗船者0人 計258人

2.5.2 設備等

現場調査並びに機関長、A社及びB社の回答書によれば、次のとおりであった。

(1) 船体の状況

本船は、前部及び後部船底にそれぞれ起倒式の水中翼を装備した全没翼型水中翼船（ジェットfoil）であり、本船の推進力は、2基のガスタービン主機で駆動されるウォータージェットポンプの噴流から得られるようになっていた。

旅客室は、1階旅客室と2階旅客室とに分かれ、2階旅客室の船首側に操舵室が配置されていた。

(2) ガスタービン室の状況

本船の右舷及び左舷ガスタービン室には、船尾部の両舷外階段の踊り場に設けられた角形マンホールから直接出入りする経路と1階旅客室床のマンホールからポンプ室を経由して出入りする経路があった。

ふだんの入室は、1階旅客室床のマンホールから行っていた。



図 2-1 客室床のガスタービン室出入口

(3) ガスタービン主機の状況

本船の右舷及び左舷ガスタービン室には、ガスジェネレータ及びパワータービンから構成されるガスタービン主機が装備されていた。

ガスジェネレータは、軸流圧縮機、ディフューザ、燃焼器及びガスタービンからなり、軸流圧縮機で必要な圧力まで圧縮した空気をディフューザを通じて流速を落とし、圧力を高めて燃焼器に送り、燃料油と混合して燃焼させてガスタービンとパワータービンを駆動する高温高压の燃焼ガスを発生させる仕組みになっていた。

一方、パワータービンは、ガスジェネレータから供給された高温高压ガスで駆動される軸流タービンであり、減速機を介してウォータージェットポンプを駆動するようになっていた。

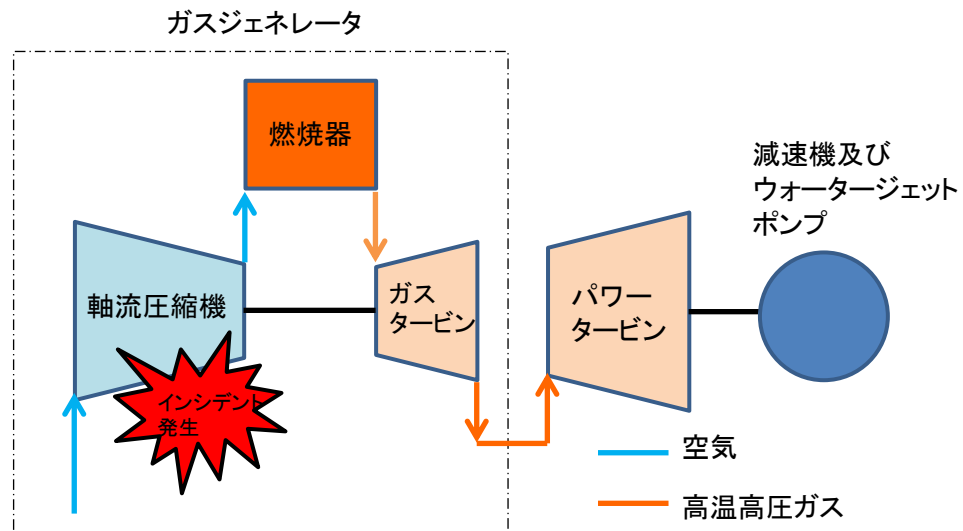


図 2-2 ガスタービン主機構成概要

(4) ガスタービン主機のガスジェネレータの軸流圧縮機に関する情報

軸流圧縮機は、回転する動翼列と固定されている静翼列が軸方向に交互に配置され、動翼列と静翼列を一段として 14 段配置されており、軸方向に空気を流しながら、空気の圧力を高めるようになっていた。

(図 2-3 空気の流れる方向と静翼及び動翼の配置 参照)

ガスタービン主機は、軸流圧縮機で圧縮された空気量の約3分の1が燃焼器での燃焼空気として使用され、約3分の2が冷却空気として使用されるようになっていた。

軸流圧縮機の静翼の両端は、それぞれアウターシュラウドとインナーシュラウドにカシメにより固定され、翼端部及び翼根部には接着材が充てんされて翼の防振が施されていた。

(図2-4 軸流圧縮機静翼の取付け状況 参照)

折損した本件圧縮機2段静翼及び動翼の状況は、本件圧縮機の吸気入口から目視によって確認することができるようになっていた。

(図2-5 軸流圧縮機の吸気入口の状況 参照)

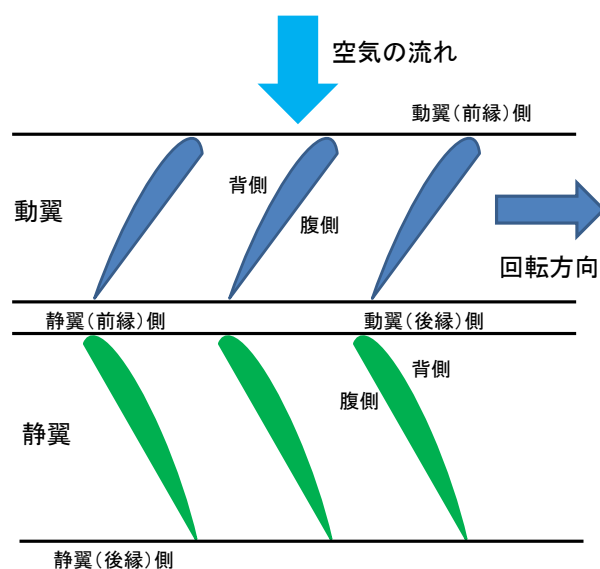


図2-3 空気の流れる方向と静翼及び動翼の配置

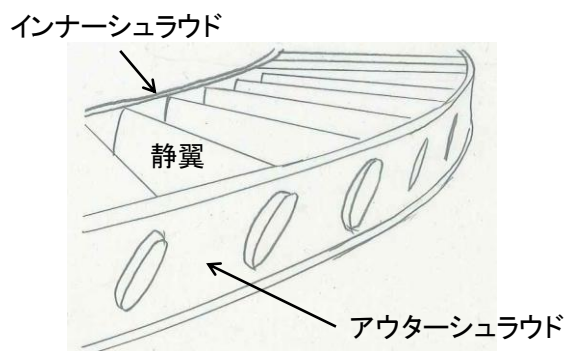


図2-4 軸流圧縮機静翼の取付け状況

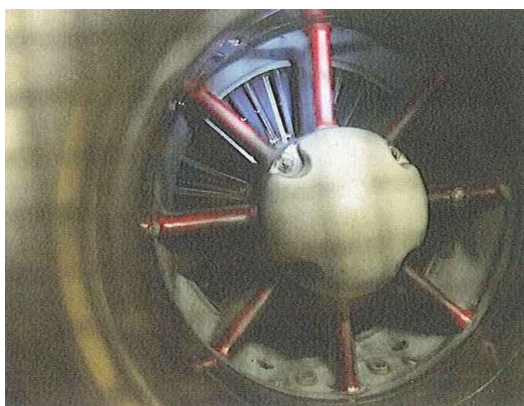


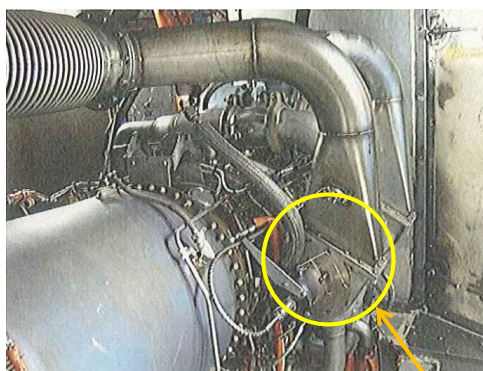
図 2 - 5 軸流圧縮機の吸気入口の状況

(5) 抽気弁及びTECH & CITセンサーの作動に関する情報

① 抽気弁

抽気弁は、軸流圧縮機の5段及び10段に取り付けられており、運転中に同弁を開放することにより、圧縮された空気を抽気し、ガスタービン主機のガスジェネレータの低回転時における軸流圧縮機のサージング*6の発生を防止していた。

抽気弁は、TECH & CITセンサーを介して油圧サーボ機構により開閉されるようになっている。



抽気弁

図 2 - 6 軸流圧縮機抽気弁の装備状況

② TECH & CITセンサー

TECH & CITセンサーは、ガスタービン主機の回転数を駆動軸で検出し、ガスタービン主機内部に組み込まれた油圧サーボ機構により、制御ケーブルを伸縮させて抽気弁を開閉させていた。また、同センサーに取り付けられているCITセンサーが外気温度を感知し、外気温度に適した抽気弁の作動範囲を設定していた。

*6 「サージング」とは、翼表面の空気の流れは、翼表面に沿って流れているが、空気の流れに対しての翼の角度（迎角）が大きくなることにより、翼表面から空気の流れが離れて失速して正常に機能しなくなる現象をいい、翼に損傷を受けた場合に発生することがある。

(6) 本件圧縮機の使用履歴

C社の回答書によれば、本件圧縮機の本インシデント発生時の使用履歴は次のとおりであった。

- ① 累計翼走時間 14,293時間
- ② 開放整備後の翼走時間 2,284時間
- ③ 累計発停回数 22,226回
- ④ 開放整備後の発停回数 3,369回

2.6 ガスタービン主機等の開放点検及び整備に関する情報

機関長及びA社船舶整備部担当者の口述並びにB社の回答書によれば、次のとおりであった。

2.6.1 本船の日常の点検

本船は、航行中、ガスタービン室等の見回りや機関の整備ができないため、乗組員とは別に陸上に組織されたA社のメンテナンス要員が整備を行っていた。

機関長及び機関士（以下「機関部職員」という。）は、当日の第1便までにA社のメンテナンス要員によって行われた整備内容の確認及びチェックリストに従った点検を行い、航海中は、操舵室内の機関監視盤の計器類を監視して機関の運転状況を把握するとともに、異常の兆候を早期発見できるように各部の温度、回転数などを記録しており、気になった箇所があれば、運航記録に記載し、当日の航海終了後にメンテナンス要員に伝えていた。

メンテナンス要員は、あらかじめ定められたガスタービン主機の点検及び整備に関する項目の他に機関部職員が記載した運航記録に関する作業を翌日の第1便までに行っていた。

また、機関部職員は、入港着岸時及び出港前に機関室内を見回り、ガスタービン主機のガスジェネレータ軸流圧縮機の2段静翼及び動翼の状況を軸流圧縮機の吸気入口から目視による確認を含めて点検を実施していた。

2.6.2 本船の定期的な開放整備及び検査

本船のガスタービン主機は、運輸局により承認された検査計画に従って開放整備が実施されており、1年目と2年目にA社によって高温部のガスタービンについて、3年目にB社によって高温部のガスタービンを含む低温部の軸流圧縮機についてそれぞれ行われていた。

なお、本件圧縮機の開放整備及び検査は平成20年6月に行われており、その際、本件圧縮機の静翼には、蛍光浸透探傷検査^{*7}が実施されていた。

^{*7} 「蛍光浸透探傷検査」とは、材料の表面に開口している傷を発見するために行われる非破壊検査方法の一つであり、開口している傷に浸透液を浸透させ、傷の発見を容易にするために行う検査方法をいい、浸透液に蛍光液を使用するものをいう。

2.6.3 本件圧縮機のTECH & CITセンサー及び抽気弁の保守点検に関する情報

本件圧縮機のTECH & CITセンサー及び抽気弁は、機関部職員が行う日常の点検項目としてチェックリストに記載されており、点検内容は手で制御ケーブルを伸縮させ、その動き具合（重い軽いの度合い）を確認するものであり、本インシデント発生当日の点検では異常は見られなかった。

2.6.4 製造者が推奨する開放整備及び交換時期に関する情報

(1) ガスジェネレータの軸流圧縮機の2段静翼について

ガスタービン主機の発停回数が10,000回以上経過した場合、交換を推奨していた。

(2) TECH & CITセンサーについて

ガスタービン主機の運転時間が6,000時間ごとに製造者の技術者による開放整備を推奨していた。

2.7 船舶の運航及び管理に関する情報

機関長の口述及び回答書によれば、次のとおりであった。

2.7.1 運航状況

本船は、新潟港と両津港の間の旅客の運送に従事しており、姉妹船2隻と共に運航し、片航海に要する時間は約1時間5分であり、同航路には、ジェットフォイルのほかに旅客フェリー2隻が運航していた。

2.7.2 船舶の管理形態

佐渡汽船シップマネジメント株式会社（以下「D社」という。）は、運航及び船員労務を行う部門として設立され、また、C社は船舶の保守整備を行う部門として設立され、C社がD社に船舶の管理を、D社がB社に船舶の保守整備をそれぞれ委託して本船を運航していた。

2.7.3 ジェットフォイル乗組員に対する教育に関する情報

機関長の口述によれば、ジェットフォイルに乗船する前の乗組員に対し、座学研修を行った後、訓練員として乗船した後、乗船許可を得て乗組員として乗船することになっていた。

2.8 気象及び海象に関する情報

2.8.1 気象観測値

本インシデント発生現場の西方約3.5Mに位置する両津市所在の両津気象観測

所における観測値は、次のとおりであった。

1 5 時 4 0 分	降水量	0.0 mm、	風向	北北東、	風速	2.7 m/s
1 5 時 5 0 分	降水量	0.0 mm、	風向	北北東、	風速	3.8 m/s
1 6 時 0 0 分	降水量	0.0 mm、	風向	北北東、	風速	3.8 m/s

2.8.2 乗組員の観測

船長の回答書によれば、天気は晴れ、北東の風、風速約 3 m/s、波高約 0.3 m、視程約 6 Mであった。

2.9 本件圧縮機の損傷の細部状況

A社及びC社の回答書によれば、次のとおりであった。

2.9.1 損傷状況

- (1) 本件圧縮機 2 段動翼 1 枚の先端部が折損していた。
- (2) 前記(1)以外の本件圧縮機 2 段動翼に打痕及び変形が生じていた。
- (3) 本件圧縮機 3～14 段動翼に打痕及び変形が生じていた。
- (4) 本件圧縮機 2 段静翼 1 枚が折損していた。
- (5) 前記(4)以外の本件圧縮機 2 段静翼に打痕及び変形が生じていた。
- (6) 本件圧縮機 1 及び 3～14 段静翼に打痕及び変形が生じていた。
- (7) 本件圧縮機 2 段動翼の折損した先端部は、2 段静翼部から発見されたが、折損した静翼は発見されなかった。

2.9.2 損傷状況の調査結果

- (1) 本件圧縮機 2 段動翼の破面を走査型電子顕微鏡により観察したところ、翼背側表面を起点とし、疲労破壊^{*8}が翼の前縁 (LE:Leading Edge) (以下「LE」という。) 腹側、翼の後縁 (TE:Trailing Edge) (以下「TE」という。) 方向に進展し、TE 側で折損していた。
- (2) 破面の硬度計測及び材料分析結果から、折損した本件圧縮機 2 段動翼に材料的な異常は見られなかった。
- (3) 寸法計測の結果から、折損した本件圧縮機 2 段動翼と他の動翼の取付け部の断面形状の寸法は適正であった。
- (4) 本件圧縮機 2 段静翼の破面を走査型電子顕微鏡によって観察したところ、本件圧縮機 2 段静翼のアウトershroud側の翼は翼付け根 TE 寄りを起点

^{*8} 「疲労破壊」とは、変動応力を繰り返し受けて疲労により破壊することをいい、破面は、走査型電子顕微鏡により観察すると細かい縞模様が見られる。なお、疲労とは、物体が疲労限度を超える応力を繰り返し受けた場合に強度が低下する現象をいう。

にして疲労破壊がLE方向に進展し、2段静翼のインナーシュラウド側の翼は翼付け根TE寄りを起点にして疲労破壊がLE方向に進展した。

(5) 破面の硬度計測及び材料分析結果から、折損した本件圧縮機2段静翼に材料的異常は見られなかった。

(図2-7 本件圧縮機2段動翼の破面の状況、図2-8 本件圧縮機2段静翼の破面の状況 参照)

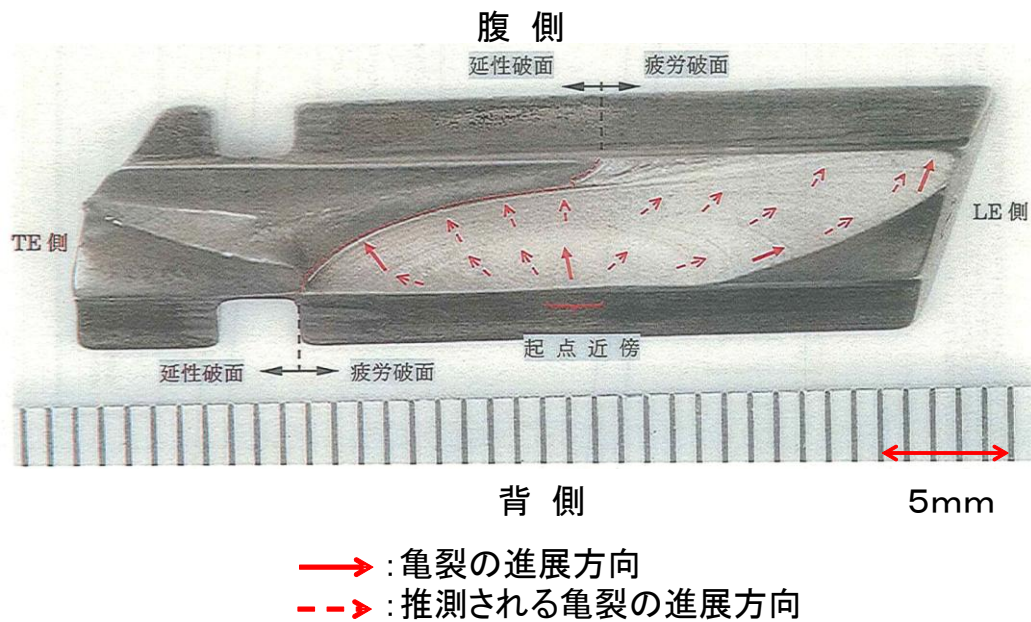


図2-7 本件圧縮機2段動翼の破面の状況

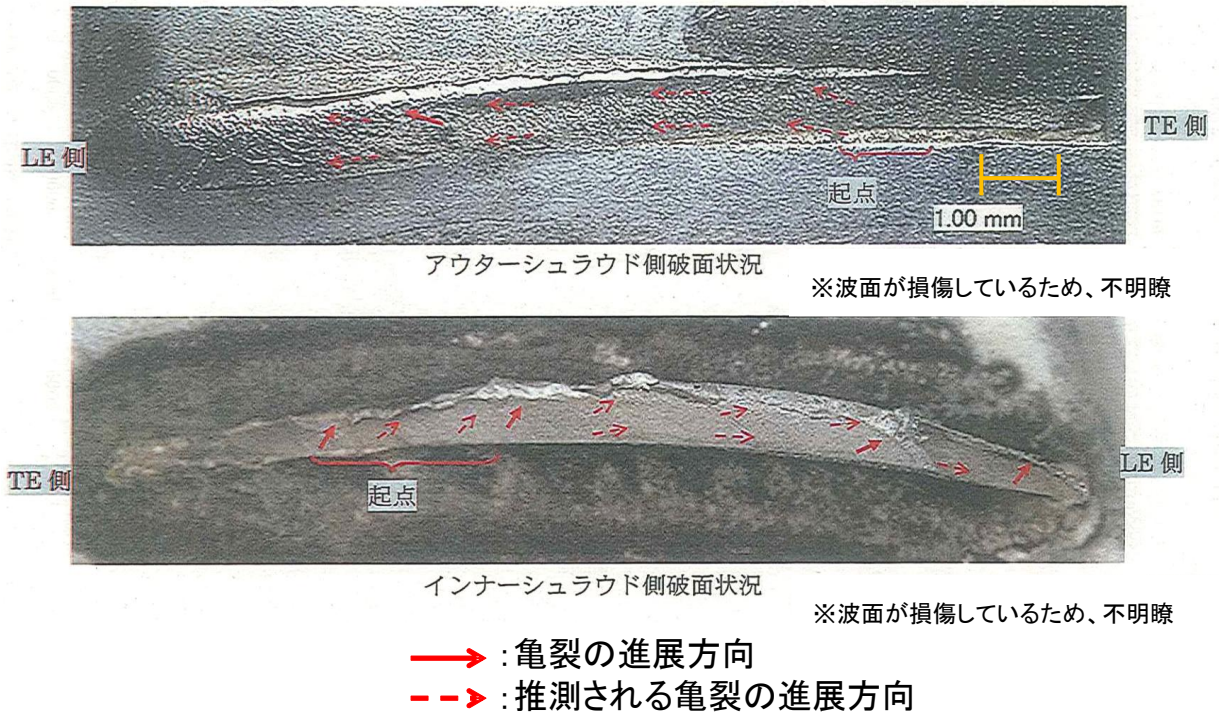


図 2 - 8 本件圧縮機 2 段静翼の破面の状況

2.9.3 TECH & CITセンサーの作動不良について

本件圧縮機に取り付けられていた TECH & CIT センサーの作動確認を行った結果、抽気弁が全閉になる回転数及び作動回転数範囲が規定値から外れており、運転時に空気の流れに乱れが生じて静翼及び動翼に曲げ応力が加わっていた可能性があった。

2.10 ガスタービン主機のガスジェネレータの警報及び自動停止についての情報 機関長の口述並びに A 社及び B 社の回答書によれば、次のとおりであった。

2.10.1 入口温度高温自動停止及び入口温度高温注意警報発生についての情報

ガスタービン主機のガスジェネレータは、ガスタービン入口空気温度が $1,104^{\circ}\text{C}$ 以上になると自動停止するようになっており、本インシデント発生時、本件圧縮機 2 段静翼及び動翼が折損したことにより、本件圧縮機にサージングが発生し、本件圧縮機内部の空気の流れに乱れを生じて燃焼器に供給される空気量が減じ、燃焼ガスの希釈及び冷却が不足してガスタービン入口空気温度が上昇したことにより、自動停止した可能性がある。

ガスタービン主機のガスジェネレータは、ガスタービン入口空気温度が 982°C 以上になると注意警報を発するようになっており、本インシデント発生時、左舷ガスタービン主機を再始動した後、振動によって本件圧縮機 5 段抽気弁の油圧継手が

破損し、左舷ガスタービン主機のガスジェネレータの回転数が上昇しても、抽気弁が閉まらず、空気量が減少してガスタービン入口空気温度が上昇したことにより、注意警報を発した可能性がある。

2.10.2 ガバナ異常についての情報

ガスタービン主機のガバナは、アナログ式の電気ガバナであり、電気回路の不良、制御機器からの動作信号の異常などの複数ある条件のいずれかに異常が生じた場合にガスタービン主機を自動停止するようになっていた。左舷ガスタービン主機は、本インシデント発生時、燃料弁を制御する制御油が漏えいしたので、燃料弁の開度位置不良が生じてガバナ異常の表示ランプが点灯し、自動停止した。なお、5段抽気弁を制御する作動油と燃料弁を制御する制御油の油圧配管はつながっていた。

2.10.3 異常振動を生じた場合の安全装置に関する情報

ガスタービン主機は、異常振動を生じた場合、振動値1.6milで警報を発し、振動値2.8milで自動停止する安全装置が備えられていた。

本船は、ふだん、ガスタービン主機の振動計に記録される振動が、0.0～0.1milであった。

2.11 本件圧縮機の損傷原因に関するC社の調査結果

C社の回答書によれば、次のとおりであった。

2.11.1 本件圧縮機2段静翼の折損

本件圧縮機2段静翼は、取付け部のカシメ及び接着材が経年劣化したことにより、翼の固定状態が変化して振動が生じ、これに伴い応力が発生し、アウターシュラウド側の翼付け根部が疲労破壊で破断して片持ち状態となった後、インナーシュラウド側の翼付け根部が疲労破壊で破断して折損した。

2.11.2 本件圧縮機2段動翼の折損

本件圧縮機2段動翼は、空気の流れの下流に配置されていた本件圧縮機2段静翼が折損し、本件圧縮機内の空気の流れに乱れを生じて翼に曲げ応力が加わり、破断面及び破断した位置から、曲げによる疲労破壊で折損した。

2.11.3 本件圧縮機2段静翼及び動翼の折損に至る状況のまとめ

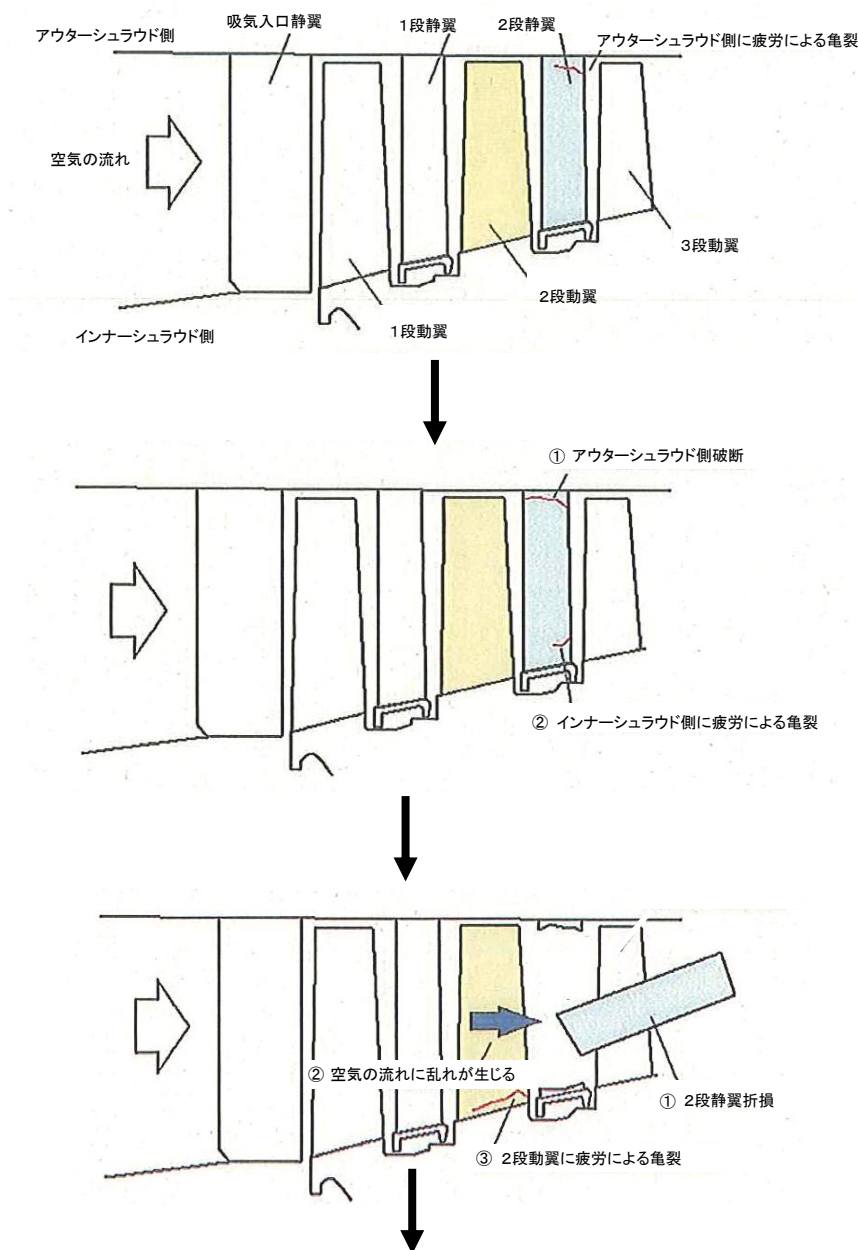
本件圧縮機2段静翼の破面は、疲労破壊の様相を示しているため、本件圧縮機2段動翼が折損し、空気の流れの下流に配置されていた本件圧縮機2段静翼に衝突したのではなく、本件圧縮機2段静翼が折損した後、本件圧縮機2段動翼が折損し

た。

本件圧縮機 2 段静翼及び動翼の折損に至る状況は、以下に示すとおりである。

- (1) 本件圧縮機 2 段静翼の OUTER シュラウド側の翼付け根部に疲労による亀裂が生じた。
- (2) 本件圧縮機 2 段静翼の OUTER シュラウド側の翼付け根部が疲労破壊で破断し、INNER シュラウド側の翼付け根部に疲労による亀裂が生じ、その後、疲労破壊で同翼が折損した。
- (3) 本件圧縮機 2 段静翼が折損し、本件圧縮機内の空気の流れに乱れが生じて本件圧縮機 2 段動翼に疲労による亀裂が生じた後、同翼が疲労破壊で折損した。

(図 2-9 本件圧縮機 2 段静翼及び動翼の折損に至る状況 参照)



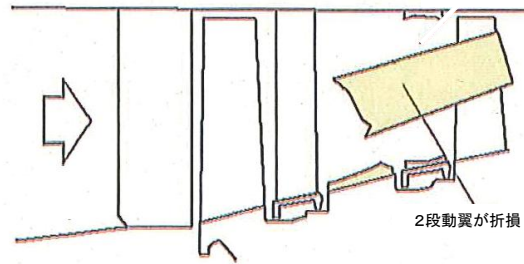


図 2 - 9 本件圧縮機 2 段静翼及び動翼の折損に至る状況

2. 1 2 本件圧縮機 5 段抽気弁の油圧配管の破損に至る状況

A社及びC社の回答書によれば、次のとおりであった。

本件圧縮機 5 段抽気弁の油圧配管は、本件圧縮機 2 段静翼及び動翼が折損した後、本件圧縮機 2 段静翼及び動翼が折損したことにより、回転体にアンバランスが生じ、振動を生じるとともに、本件圧縮機がサージングを起こして左舷ガスタービン主機に振動が生じて 5 段抽気弁の油圧配管が破損し、配管内の作動油が漏えいした。

3 分析

3. 1 インシデント発生状況

3. 1. 1 インシデント発生に至る経過

2. 1 から、次のとおりであったものと考えられる。

- (1) 本船は、10月28日14時55分ごろ新潟港を出港し、両津港に向かった。
- (2) 本船は、両津港東方沖において、ウォータージェットポンプを約1,800rpmとして約37～38knの速力により、翼走状態で西進中、15時50分ごろ操舵室内の機関監視盤の左舷ガスタービン主機のガスタービン入口温度高温警報ランプが点灯し、警報が鳴り、左舷ガスタービン主機が自動停止した。
- (3) 本船は、機関長が左舷ガスタービン主機のモータリングを行ったが、異常を認めなかった。
- (4) 本船は、機関長が、左舷ガスタービン主機を起動し、ウォータージェットポンプの回転数を約1,500rpmに増速したところ、左舷ガスタービン主機のガスタービン入口温度高温注意警報が鳴り、ガバナ異常により左舷ガスタービン主機が自動停止した。
- (5) 一等機関士は、左舷ガスタービン室内を点検したところ、本件圧縮機の下部に漏油を認めた。

(6) 本船は、左舷ガスタービン主機の運転ができなくなり、運航が阻害された。

3.1.2 インシデント発生日時及び場所

2.1から、本インシデントの発生日時は、平成23年10月28日15時50分ごろで、発生場所は、両津港北防波堤先端灯台から真方位080° 3.5M付近であったものと考えられる。

3.2 インシデント要因の解析

3.2.1 乗組員の状況

2.4(1)から、船長及び機関長は、適法で有効な海技免状を有していた。

2.4(2)から、船長及び機関長の健康状態は、良好であったものと考えられる。

3.2.2 気象の状況

2.8から、本インシデント当時、天気晴れ、風向北北東、風速約2.7～3.8m/s、波高約0.3m、視程約6Mであったものと考えられる。

3.2.3 本件圧縮機損傷に関する解析

(1) 本インシデント発生前の船舶の状況

2.1及び2.6.1から、次のとおりであったものと考えられる。

- ① 本船は、10月28日の第1便として運航を開始する前に機関部職員がチェックリストに従って左舷ガスタービン主機の点検を行い、異常がないことを確認した。
- ② 本船は、14時55分ごろの新潟港出港前に機関部職員により、ガスタービン主機のガスジェネレータ軸流圧縮機の2段静翼及び動翼の状況を軸流圧縮機の吸気入口から目視による確認を含め、左舷ガスタービン室内の点検が行われ、異常がないことを確認した。

(2) 本件圧縮機損傷に至る状況

2.1及び2.9～2.11から、次のとおりであった。

- ① 本件圧縮機2段静翼は、左舷ガスタービン主機の発停が繰り返されていたことから、アウターシュラウド側の翼取付け部のカシメ及び接着材が経年劣化し、製造時と比較して翼の固定状態が変化していた可能性があると考えられる。
- ② 本件圧縮機2段静翼のアウターシュラウド側の翼取付け根部は、固定状態が変化したことから、運転中に振動が生じて繰り返し曲げ応力を生じ、アウターシュラウド側の翼付け根部に疲労による亀裂が生じた後、破断し

たものと考えられる。

- ③ 本件圧縮機 2 段静翼は、アウターシュラウド側の取付け根部が疲労破壊で破断したことから、同静翼が片持ち状態となり、インナーシュラウド側の取付け根部に疲労による亀裂が生じた後、同部が疲労破壊で破断し、折損したのものと考えられる。
- ④ 本件圧縮機は、本件圧縮機 2 段静翼が折損したことから、本件圧縮機内の空気の流れに乱れが生じて本件圧縮機 2 段動翼に疲労による亀裂が生じた後、同翼が疲労破壊で折損したのものと考えられる。
- ⑤ 左舷ガスタービン主機は、本件圧縮機 2 段静翼及び動翼が折損して本件圧縮機にサージングが発生し、燃焼器に供給される空気量が減少して燃焼ガスの希釈及び冷却が不足したことから、ガスタービン入口温度が $1,104^{\circ}\text{C}$ 以上に上昇して自動停止したのものと考えられる。
- ⑥ 左舷ガスタービン主機は、自動停止した後、本件圧縮機 2 段静翼及び動翼が折損した状態で再始動されたことから、本件圧縮機にサージングが発生するとともに、翼の折損による回転体の不均衡によって約 1mil の振動が生じて 5 段抽気弁の油圧配管が破損し、配管内の作動油が漏えいしたのものと考えられる。
- ⑦ ガスタービン主機のガバナは、前記⑥の配管が燃料弁の制御油の配管とつながっており、配管内の作動油が漏えいしたことから、燃料弁の制御油圧が低下して燃料弁の開度位置不良が生じ、ガバナ異常の表示ランプが点灯し、左舷ガスタービン主機が自動停止したのものと考えられる。
- ⑧ 左舷ガスタービン主機は、本件圧縮機にサージングの発生及び翼の折損による回転体の不均衡によって約 1mil の振動が生じたが、 1.6mil の振動で警報を発し、 2.8mil の振動で自動停止する安全装置であったことから、振動による警報の発報及び自動停止する安全装置は、作動しなかったのものと考えられる。
- ⑨ 本件圧縮機は、TECH & CIT センサーの抽気弁が全閉になる回転数及び作動回転数範囲が規定値から外れており、運転時に空気の流れに乱れが生じることから、このことは本件圧縮機静翼及び動翼への曲げ応力発生に関与した可能性があると考えられる。

3.2.4 本件圧縮機の開放点検及び整備に関する解析

- (1) 2.6.1. から、本件圧縮機は、機関部職員及びA社のメンテナンス要員が、チェックリストに従った点検を行い、あらかじめ定められた点検及び整備を行っていたのものと考えられる。

- (2) 2.6.2 から、本件圧縮機は、検査計画に従ってA社及びB社により、開放整備及び検査が実施されていたものと考えられる。
- (3) 2.5.2(6)及び2.6.4 から、本件圧縮機2段静翼は、発停回数が22,226回であり、製造者が推奨する10,000回を超えていたことから、製造者の推奨する発停回数に従って交換していれば、破断に至らなかった可能性があると考えられる。
- (4) 2.6.3 及び 2.6.4 から、本件圧縮機TECH & CITセンサーは、点検が実施されていたが、同センサーによる抽気弁を全閉にする回転数及び作動回転数範囲が規定値から外れており、B社が推奨する運転時間6,000時間ごとの製造者の技術者による開放整備が実施されていなかったものと考えられる。

本件圧縮機TECH & CITセンサーは、製造者の推奨する運転時間に従って技術者による開放整備が実施されていれば、本件圧縮機静翼及び動翼への曲げ応力の発生を防止できた可能性があると考えられる。

3.2.5 左舷ガスタービン主機の再始動に関する解析

2.1、2.5.2 及び 2.10.1 から、次のとおりであった。

機関長は、左舷ガスタービン主機のガスタービン入口温度が1,104℃以上となり、左舷ガスタービン主機が自動停止したものの、操舵室内の機関監視盤によって異常が認められなかったことから、現場の確認を行わず、モータリングを行って再始動したものと考えられる。

本件圧縮機2段静翼及び動翼の状況は、本件圧縮機の吸気入口から目視によって確認できるようになっていたことから、左舷ガスタービン室へ入室して本件圧縮機の吸気入口から目視によって確認していれば、本件圧縮機2段静翼及び動翼の折損を発見でき、再始動することなく、5段抽気弁の油圧配管の破損を防止できた可能性があると考えられる。

3.2.6 インシデント発生に関する解析

3.1.1 及び 3.2.3 から、次のとおりであった。

- (1) 本船は、左舷ガスタービン主機の発停が繰り返されていたことから、本件圧縮機2段静翼のアウトershroud側の翼取付け部のカシメ及び接着材が経年劣化し、製造時と比較して固定状態が変化していた可能性があると考えられる。
- (2) 本船は、本件圧縮機2段静翼のアウトershroud側の翼取付け部の固定状態が変化していたことから、左舷ガスタービン主機の運転中に振動を生じ

ていたものと考えられる。

- (3) 本船は、14時55分ごろ新潟港を出港し、両津港に向かったものと考えられる。
- (4) 本船は、本件圧縮機2段静翼のアウトershroud側の翼取付け部が運転中に振動を生じ、繰り返し曲げ応力が作用していたことから、同翼取付け根部が疲労破壊で破断した後、インナーシュラウド側の翼付け根部が疲労破壊で破断して同翼が折損したものと考えられる。
- (5) 本船は、本件圧縮機2段静翼が折損したことから、本件圧縮機内の空気の流れに乱れが生じたものと考えられる。
- (6) 本船は、本件圧縮機内の空気の流れに乱れが生じたことから、本件圧縮機2段動翼が疲労破壊で折損したものと考えられる。
- (7) 本船は、両津港東方沖をウォータージェットポンプ回転数毎分約1,800rpmの約37～38knの速力により、翼走状態で西進中、本件圧縮機2段静翼及び動翼が折損したことから、本件圧縮機にサージングが発生したものと考えられる。
- (8) 本船は、左舷ガスタービン主機の燃焼器に供給される空気量が減少して燃焼ガスの希釈及び冷却が不足したことから、ガスタービン入口温度が1,104℃以上に上昇し、15時50分ごろ、操舵室内の機関監視盤の左舷ガスタービン主機のガスタービン入口温度高温警報ランプが点灯して警報が鳴り、左舷ガスタービン主機が自動停止したものと考えられる。
- (9) 機関長は、操舵室機関監視盤に異常表示を認めず、左舷ガスタービン主機のモータリングを行ったが、異常を認めなかったものと考えられる。
- (10) 本船は、左舷ガスタービン主機が本件圧縮機2段静翼及び動翼が折損した状態で再始動されたことから、本件圧縮機にサージングが発生し、左舷ガスタービン主機のガスタービン入口温度高温注意警報が鳴り、また、翼の折損による回転体の不均衡によって約1milの振動が生じ、本件圧縮機5段抽気弁の油圧配管が破損し、配管内の作動油が漏えいしたものと考えられる。
- (11) 本船は、5段抽気弁の油圧配管が燃料弁の制御油の配管とつながっており、配管内の作動油が漏えいしたことから、燃料弁の制御油圧が低下し、燃料弁の開度位置不良が生じてガバナ異常によって自動停止したものと考えられる。
- (12) 本船は、左舷ガスタービン主機の運転ができなくなり、運航が阻害されたものと考えられる。

4 結 論

4.1 原因

本インシデントは、本船が、両津港東方沖を同港に向けて西進中、本件圧縮機2段静翼及び2段動翼が疲労破壊で折損したため、左舷ガスタービン主機の運転ができなくなったことにより発生したものと考えられる。

本件圧縮機2段静翼及び2段動翼が疲労破壊で折損したのは、左舷ガスタービン主機の発停が繰り返されたことによる2段静翼の OUTER SHroud 側の翼取付け部のカシメ及び接着材が経年劣化し、製造時と比較して翼の固定状態が変化して振動したこと、OUTER SHroud 側の翼取付け根部が疲労破壊して破断した後、INNER SHroud 側の翼取付け根部が疲労破壊で破断したことによる可能性があると考えられ、2段静翼が折損したこと、本件圧縮機内の空気の流れに乱れが生じて2段動翼に疲労による亀裂が生じたことによるものと考えられる。

4.2 その他判明した安全に関する事項

C社は、製造者が示していたガスタービン主機ガスジェネレータ軸流圧縮機2段静翼の交換に関する推奨発停回数を超えて本件圧縮機は使用されていたものと考えられるが、製造者の推奨する発停回数に従って同翼を交換していれば、同翼は破断に至らなかった可能性があると考えられる。

機関部職員は、TECH & CITセンサーについて点検を実施していたが、同センサーによる抽気弁を全閉にする回転数及び作動回転数の範囲が規定値から外れており、C社は、製造者が推奨する運転時間ごとの製造者の技術者による開放整備を実施していなかったものと考えられるが、製造者の推奨する運転時間に従って技術者による開放整備が実施されていれば、本件圧縮機静翼及び動翼への曲げ応力の発生を防止できた可能性があると考えられる。

機関長は、左舷ガスタービン主機のガスタービン入口温度が $1,104^{\circ}\text{C}$ 以上となり、左舷ガスタービン主機が自動停止したものの、操舵室内の機関監視盤によって異常が認められなかったことから、モータリングを行って再始動したものと考えられるが、本件圧縮機2段静翼及び動翼の状況は、本件圧縮機の吸気入口から目視によって確認できるようになっていたことから、左舷ガスタービン室へ入室して本件圧縮機の吸気入口から目視によって確認していれば、本件圧縮機2段静翼及び動翼の折損を発見でき、再始動することなく、5段抽気弁の油圧配管の破損を防止できた可能性があると考えられる。

5 再発防止策

本インシデントは、本船が、両津港東方沖を同港に向けて西進中、本件圧縮機2段静翼及び2段動翼が疲労破壊で折損したため、左舷ガスタービン主機の運転ができなくなったことにより発生したものと考えられる。

本件圧縮機2段静翼及び2段動翼が疲労破壊で折損したのは、左舷ガスタービン主機の発停が繰り返されたことによる2段静翼のアウトershroud側の翼取付け部のカシメ及び接着材が経年劣化し、製造時と比較して翼の固定状態が変化して振動したことから、アウトershroud側の翼取付け根部が疲労破壊して破断した後、インナーershroud側の翼取付け根部が疲労破壊で破断したことによる可能性があると考えられ、2段静翼が折損したことから、本件圧縮機内の空気の流れに乱れが生じて2段動翼に疲労による亀裂が生じたことによるものと考えられる。

C社は、製造者が示していたガスタービン主機ガスジェネレータ軸流圧縮機2段静翼の交換に関する推奨発停回数を超えて本件圧縮機は使用されていたものと考えられるが、製造者の推奨する発停回数に従って同翼を交換していれば、同翼は破断に至らなかった可能性があると考えられる。

機関部職員は、TECH & CITセンサーについて点検を実施していたが、同センサーによる抽気弁を全閉にする回転数及び作動回転数の範囲が規定値から外れており、C社は、製造者が推奨する運転時間ごとの製造者の技術者による開放整備を実施していなかったものと考えられるが、製造者の推奨する運転時間に従って技術者による開放整備が実施されていれば、本件圧縮機静翼及び動翼への曲げ応力の発生を防止できた可能性があると考えられる。

機関長は、左舷ガスタービン主機のガスタービン入口温度が $1,104^{\circ}\text{C}$ 以上となり、左舷ガスタービン主機が自動停止したものの、操舵室内の機関監視盤によって異常が認められなかったことから、モータリングを行って再始動したものと考えられるが、本件圧縮機2段静翼及び動翼の状況は、本件圧縮機の吸気入口から目視によって確認できるようになっていたことから、左舷ガスタービン室へ入室して本件圧縮機の吸気入口から目視によって確認していれば、本件圧縮機2段静翼及び動翼の折損を発見でき、再始動することなく、5段抽気弁の油圧配管の破損を防止できた可能性があると考えられる。

したがって、船舶運航者は、次のことに留意して保守及び整備を実施することが必要なものと考えられる。

- (1) 経年劣化をする機器は、製造者の推奨値を参考にして保守整備計画を立て、開放整備及び必要部品の交換を行うことが望ましい。
- (2) 機器が自動停止した場合は、監視機器類のみによることなく、直接機器を点検

して早期に損傷原因を究明し、適切な措置を講ずること。

5.1 インシデント後にとられた再発防止策

A社が講じた措置

A社は、本インシデント後、ガスタービン主機のガスジェネレータの毎年における点検で軸流圧縮機内部の開放点検を行わない場合は、内視鏡による点検を行うこととした。

5.2 今後必要とされる再発防止策

船舶運航者は、次のことに留意して再発防止に努める必要がある。

- (1) 経年劣化をする機器は、製造者の推奨値を参考にして保守整備計画を立て、開放整備及び必要部品の交換を行うことが望ましい。
- (2) 機器が自動停止した場合は、監視機器類のみによることなく、直接機器を点検して早期に損傷原因を究明し、適切な措置を講ずること。

付図1 インシデント発生場所図

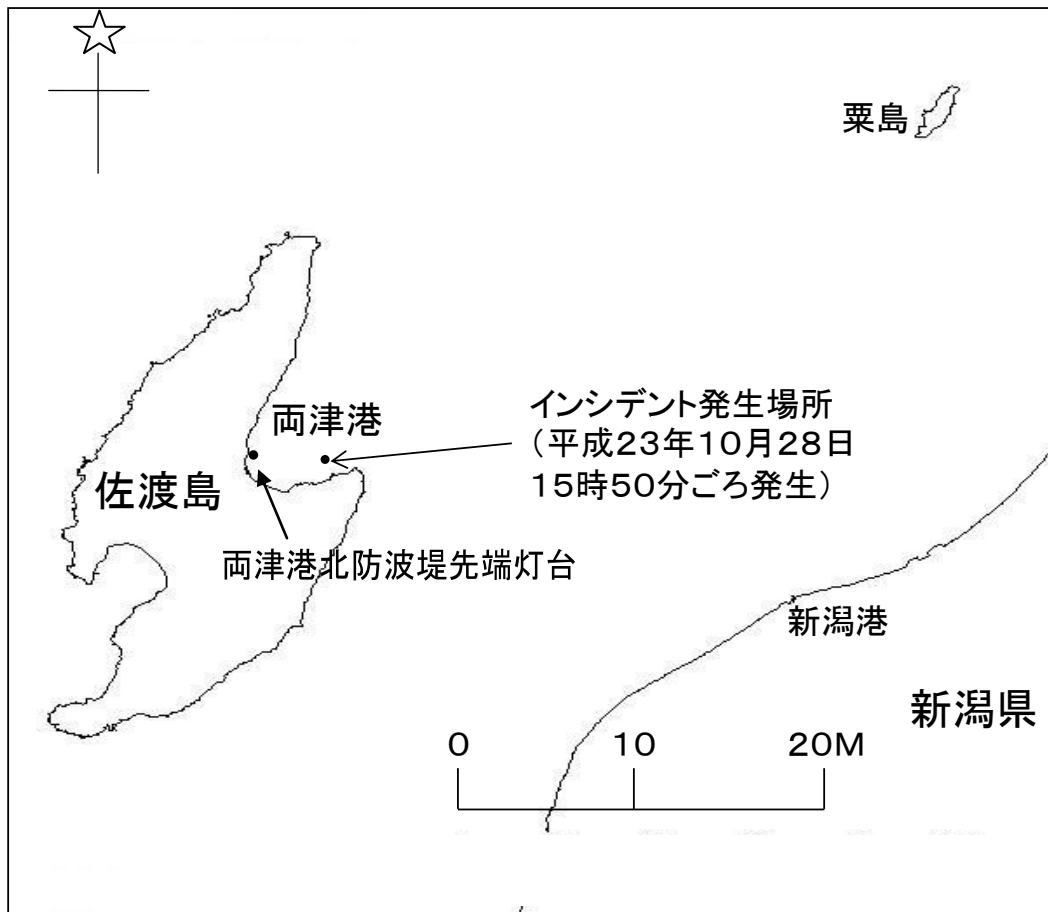


写真1 本船



写真2 操舵室内の機関監視盤

